



**Fraunhofer**  
IWU

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WERKZEUGMASCHINEN UND UMFORMTECHNIK IWU

# WERKZEUG- UND FORMENBAU



# OPTIMIERUNG

## Prozessketten

Der Werkzeug- und Formenbau entwickelt sich im Spannungsfeld wachsender Produktvielfalt bei gleichzeitig sinkenden Produktzykluszeiten. Die Senkung der hohen Durchlaufzeiten ist dabei von oberster Priorität. Eine gleichzeitige Reduzierung der Herstellungskosten ist nur durch die Neugestaltung und Optimierung der gesamten Prozesskette erreichbar.

Ausgehend von umfassenden Analysen der Fertigungsabläufe werden Optimierungspotentiale aufgedeckt und Grundlagen für die Gestaltung zukünftiger Fertigungs- und Maschinenkonzepte geschaffen.

Die angewandte Methodik gliedert sich in:

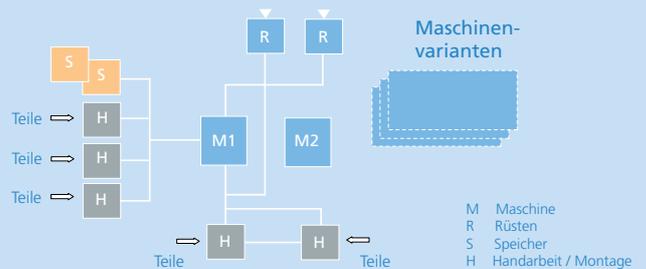
- Analyse der Prozesskette zur Erfassung aller Zusammenhänge und Abhängigkeiten
- Ableitung von Optimierungspotentialen einschließlich Nachweis der Effekte
- Entwicklung neuer Fertigungskonzepte in der mechanischen Fertigung unter Beachtung vor- und nachgelagerter Prozessschritte
- Grob- und Feinplanung technologischer Verfahren
- Dimensionierung von Bearbeitungsmaschinen

## Prozesskettenoptimierung

### Analyse der Prozesse



### Entwicklung neuer Fertigungskonzepte



### Ableitung neuer Maschinenkonzepte

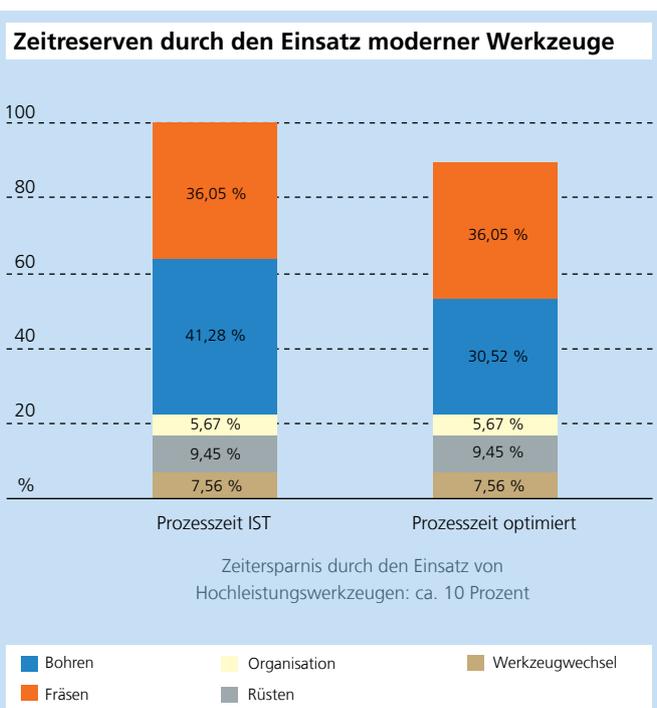
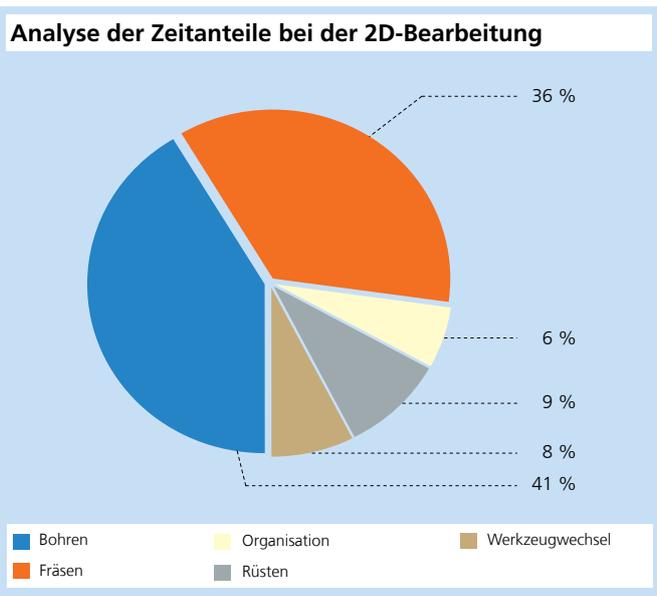


## Fertigungszeitoptimierung

Zur Verkürzung von Produktionszeiten müssen bei der spanenden Fertigung nicht nur die Effekte moderner Technologien und Schneidstoffpotentiale genutzt, sondern auch der eigentliche Fertigungsprozess analysiert und optimiert werden. Zeitreserven lassen sich durch eine Optimierung von Technologie, Technik und Organisation herausarbeiten.

Schwerpunkte der Fertigungsanalysen sind:

- Analyse der technologischen Abläufe in der mechanischen Fertigung
- Bewertung und Optimierung einzelner Fertigungsstufen hinsichtlich der Möglichkeiten reduzierter Haupt- und Nebenzeiten
- Senkung der Maschinenbelegungszeiten



# FERTIGUNGSVERFAHREN

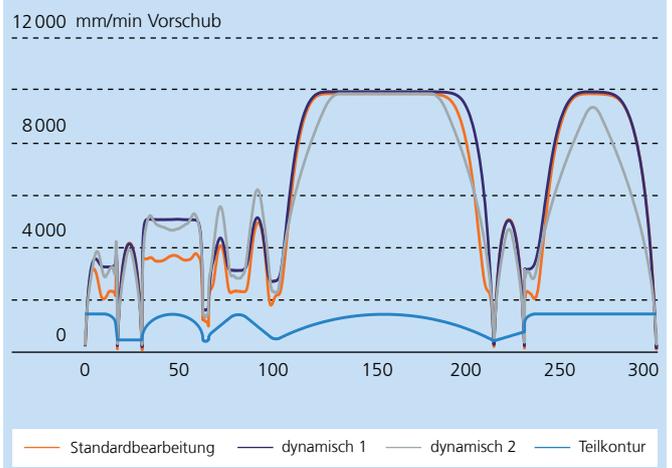
## Maschinenanalyse

Die Potentiale zur Produktivitäts- und Genauigkeitssteigerung im Werkzeug- und Formenbau werden gegenwärtig intensiv diskutiert. Aufgrund des hohen Anteils an Freiformgeometrien und der vorherrschenden Einzel- und Kleinserienfertigung wird der gesamte Herstellungsprozess signifikant von Kosten und Zeit der mechanischen Bearbeitung bestimmt. Darüber hinaus legt die Genauigkeit der Fertigung den Aufwand der erforderlichen Nacharbeit fest.

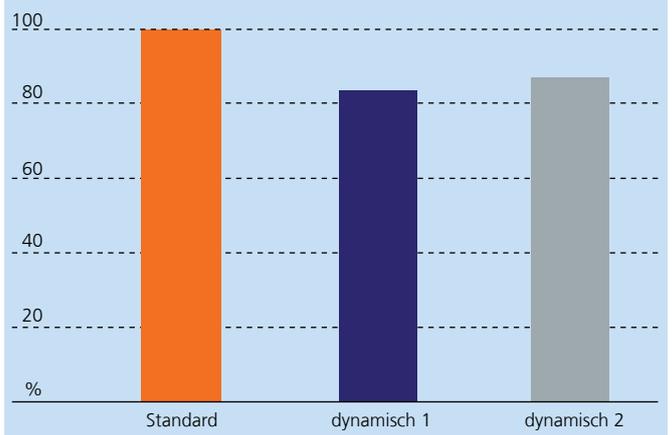
Der Feinbearbeitung kommt dabei sowohl wegen des hohen Zeitanteils als auch als Basis für die nachfolgenden Einarbeitungs- und Einpassungsarbeiten eine große Bedeutung zu. Da die zu realisierenden Bearbeitungsgeschwindigkeiten durch die Leistungsfähigkeit der eingesetzten Schneidstoffe begrenzt sind, liegen die größten Potentiale in der Optimierung der dynamischen Eigenschaften der Bearbeitungsmaschine. Durch die Abstimmung von CAM-Toleranzen, NC-Steuerungstoleranzen sowie dynamischen NC-Steuerungseinstellungen können – ohne Veränderung der Bearbeitungsstrategie – Zeiteinsparungen von bis zu 20 Prozent erreicht werden. Voraussetzungen dafür sind eine ganzheitliche Betrachtung des Bearbeitungsprozesses sowie die Anpassung der prozessrelevanten Parameter an die Bearbeitungsaufgabe.

Auf der Basis einer umfassenden Analyse der Fehlereinflüsse entlang der Prozesskette »Mechanische Bearbeitung« können Aussagen zur Arbeitsgenauigkeit von Werkzeugmaschinen unter verschiedenen Prozess- und Umgebungsbedingungen getroffen werden. Diese bieten Anwendern und Werkzeugmaschinenherstellern den Ausgangspunkt für Verbesserungen bei der Fertigung von Werkzeugen bzw. bei der Gestaltung von Maschinenelementen.

## Konturbezogenes Bewegungsprofil



## Programmlaufzeit





## 5-Achs-Bearbeitung

Der Bearbeitungs- und Zeitaufwand zur Herstellung von Freiformoberflächen im Werkzeugbau ist sehr hoch. Für eine schnelle und wirtschaftliche Werkzeugfertigung sind Alternativen zur konventionellen 3-Achs-Fräsbearbeitung notwendig.

Der Einsatz effizienter 5-Achs-Zerspanungstechnologien ermöglicht die signifikante Senkung von Bearbeitungszeiten. Zum Beispiel können bei der Bearbeitung von Kavitäten und ähnlichen topologischen Ausprägungen das Aspektverhältnis der Werkzeuge deutlich reduziert und dadurch prozesssichere Fertigungsbedingungen realisiert werden. Andererseits erlaubt die Anwendung 5-achsiger Bearbeitungsstrategien für die Schlicht- und Vorschlichtbearbeitung die Substitution von Kugelkopffräsern durch effizientere Torusfräser.

Oberflächen, die durch 5-Achs-Bearbeitung hergestellt wurden, zeichnen sich aufgrund der optimalen Ausrichtung des Bearbeitungswerkzeugs zur Werkstückoberfläche durch geringe Welligkeits- und Rauheitswerte aus. Der Nacharbeitsaufwand kann daher auf ein Minimum reduziert werden. Gleichzeitig wird die Eingriffsbreite der Werkzeuge erhöht und die Bearbeitungszeit signifikant gesenkt.

Vor allem bei der 5-Achs-Bearbeitung von Werkzeugkomponenten aus Eisenguss- und Stahlwerkstoffen werden hohe Anforderungen an die eingesetzte Maschinenteknik gestellt. Gerade bei Schrupp- und Vorschlichtoperationen benötigen die Schwenkachsen der Bearbeitungszentren sehr hohe Haltemomente im lagegeregelten Betrieb. Durch die Anpassung der Bearbeitungsstrategien an die maschinenspezifischen Gegebenheiten sind signifikante Vorteile erzielbar.

## Fräsen thermisch gespritzter Hartmetalle

Der Einsatz von Hartmetall im Werkzeug- und Formenbau erscheint aufgrund der hohen Material- und Bearbeitungskosten häufig unwirtschaftlich. Eine effiziente und wirtschaftliche Hartmetallbearbeitung insbesondere im Bereich konturkomplexer Geometrien war mit den bisher zur Verfügung stehenden Möglichkeiten nicht gegeben.

Moderne Fertigungsverfahren wie das Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF – High Velocity Oxy Fuel) erlauben eine gezielte Aufbringung des Werkstoffs Hartmetall auf hoch belastete Werkzeugbereiche. Dadurch kann der Verschleißschutz bedeutend verbessert werden. Die Schichten weisen mit einer Härte von über 1000 HV annähernd gleiche Eigenschaften wie gesinterte Hartmetalle auf, erfordern jedoch trotz der hohen Formgenauigkeit eine abschließende Finishbearbeitung.

Eine neue und zudem überaus wirtschaftliche Bearbeitungsmöglichkeit ist das Fräsen thermisch gespritzter Hartmetalle. Eine auf das Verfahren abgestimmte Prozessauslegung und Werkzeugauswahl ermöglichen die deutliche Steigerung von Wirtschaftlichkeit und Flexibilität. Für geometrisch komplexe Konturen konnte eine Reduzierung der Kosten für die Hartmetallbearbeitung um 60 Prozent im Vergleich zu konventionellen Verfahren (Konturschleifen, Senkerodieren) nachgewiesen werden. Neben einer nahezu schädigungsfreien Randzone erzeugt die Fräsbearbeitung von Hartmetall mit superharten Schneidstoffen zudem hervorragende Oberflächenqualitäten.

1 5-Achs-Bearbeitung eines Fahrzeugaußenteils

2 Fräsbearbeitung eines hartmetallbeschichteten Schmiedegesenks



### Bohrschruppen

Die Fertigung tiefer Kavitäten im Formenbau ist mit einem sehr hohen Bearbeitungs- und Zeitaufwand verbunden. Zur Verbesserung der Produktivität sind auch hier Alternativen zur konventionellen Fräsbearbeitung gefragt.

Durch den Einsatz des Bohrschruppens kann die Schrupper-spannung wesentlich optimiert werden. Das Verfahren basiert auf der ausschließlich in Spindelachsrichtung wirkenden Bearbeitung, dem Einsatz optimierter Werkzeuge sowie einer hohen Produktivität durch einen großen radialen Bearbeitungsabstand.

Vorteile der Bearbeitungsstrategie sind

- Reduzierung der Bearbeitungszeit um bis zu 30 Prozent im Vergleich zu konventionellen Verfahren
- Erhöhung des Zeitspanvolumens
- Verringerung der radialen Bearbeitungskräfte
- Senkung der Bauteilerwärmung durch gezielte Späneabfuhr
- Erhöhung der Prozesssicherheit

**3** *Bearbeitungszustand nach dem Bohrschruppen*

**4** *Präzise elektrochemische Bearbeitung eines Stanzwerkzeugs*



### Elektrochemische Präzisionsbearbeitung

Abtragende Verfahren ergänzen den Werkzeug- und Formenbau durch die Bearbeitung von Werkstoffen unabhängig von ihren mechanischen Eigenschaften. Für höchste Präzision und kleinste Strukturen ist die weitgehend kraftfreie Bearbeitung ein erheblicher Vorteil.

Die Technologieentwicklung im Bereich der elektrochemischen Fertigungsverfahren konzentriert sich auf die Erweiterung des bearbeitbaren Materialspektrums sowie auf die Entwicklung hybrider Technologien zur Integration des Verfahrens in die Fertigungsprozessketten. Die Forschungsthemen beschäftigen sich sowohl mit der Prozessuntersuchung, der Lokalisierung des Abtragsgebiets, der Prozesssimulation und Prozessoptimierung als auch mit der applikationsspezifischen Technologie- und Vorrichtungsentwicklung sowie der Prototypenfertigung. Untersuchungsgegenstand sind das elektrochemische Abtragen mit geschlossenem elektrolytischen Freistrahle (Jet-ECM) und die präzise elektrochemische Metallbearbeitung (PECM).

Das elektrochemische Abtragen ermöglicht eine kraft- und gratfreie Bearbeitung, die unabhängig von den mechanischen Werkstückeigenschaften wie Härte und Zähigkeit ist. Des Weiteren treten keine mechanischen Eigenschaftsänderungen und thermischen Schädigungen der Werkstückoberfläche auf.

Der EC-Prozess wird bei der Fertigung von Grundgeometrien und Nebenformelementen, zur Endbearbeitung von Bauteilen, zur Mikrostrukturierung von Bauteiloberflächen sowie zur Fertigung von Werkzeugen eingesetzt.

# UNSER ANGEBOT

## Dienstleistungen

### Prozesskettenentwicklung

- Marktanalyse
- Prozesskettenuntersuchung
- Prozessoptimierung
- Kosten-Nutzen-Rechnung
- Entwicklung von Fertigungskonzepten
- Grob- und Feinplanung technologischer Verfahren
- Technologische Dimensionierung von Bearbeitungsmaschinen
- Empfehlungen zu Maschineninvestitionen

### Entwicklung und Bewertung von Bearbeitungsstrategien

- Marktanalyse
- Machbarkeitsstudie
- Technologieentwicklung
- Erarbeitung von Verfahrenskennwerten
- Erarbeitung optimaler Bearbeitungsstrategien
- Benchmarking von CAD/CAM-Systemen

### Qualitätssicherung

- Photogrammetrische Geometrieerfassung von Bauteilen und Werkzeugen
- Vermessen von Mikrobauanteilen durch konfokale Mikroskopie und Streifenprojektion
- Maschinen- und Werkzeugvermessung durch Laser-Tracker
- Strukturanalyse mit Rasterelektronenmikroskop

## Ausstattung

### Verfügbare Maschinenteknik

- 5-Achs-Hexapod-Fräsmaschine Mikromat 6X HEXA
- 5-Achs-Multifunktionsmaschine Dynapod
- 5-Achs-Fräsmaschine DIGMA 850 HSC
- 5-Achs-Mikrobearbeitungszentrum KUGLER
- 4-Achs-Waagrecht-Bearbeitungszentrum HEC 500D XXL
- 5-Achs-Bearbeitungszentrum HEC 630 X5
- 3-Achs-Senkrecht-Bearbeitungszentrum Mikron VCP 1000
- CNC-Drehmaschine N20 mit Hochdruckeinheit

- Dreh-Fräszentrum GMX 250 linear
- Nagel VARIOHONE VSM 8-60 SV-NC
- Unrundschleifmaschine KEL-VARIA UR 175/1500
- Koordinatenschleifmaschine SkoE400
- Elektrochemisches Bearbeitungszentrum PEM Center 8000

### Verfügbare Software

- CAD-Systeme: Inventor, Pro-Engineer, CATIA
- CAM-Systeme: Tebis, GIB CAD&CAM
- Finite-Elemente-Software: ABAQUS, MARC, ANSYS, DEFORM

### Verfügbare Kühlschmierstofftechnik

- MMS-Einkanalsystem: Vogel und Lubrix
- MMS-Zweikanalsystem: Bielomatik
- Aerosol-Trockenschmierung mit CO<sub>2</sub>-Kühlung  
Aerosol Master 4000 c, Rother
- CO<sub>2</sub>-Kühlsystem mit MMS Chil Aire EI 3120, CoolClean

### Verfügbare Messtechnik

- Koordinatenmessmaschine PRISMO7S-ACC (ZEISS)
- Diverse optische Rauheits- und Profilmessgeräte
- Konfokales Mikroskop, ITO Uni Stuttgart
- Weißlichtinterferometer, ITO Uni Stuttgart
- MikroCAD, GFM Teltow
- Raster-Elektronen-Mikroskop, LEO Oberkochen
- EDX-System, Oxford Instruments
- Tastende Rauheits- und Profilmessgeräte HOMMEL und Mitutoyo
- Formmessgerät F2002, HOMMEL
- Ultraschallwanddickenmessgeräte
- Profilprojektor PJ300

**Herausgeber**

Fraunhofer-Institut für  
Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU  
Reichenhainer Straße 88  
09126 Chemnitz

Telefon +49 371 5397-0  
Fax +49 371 5397-1404  
info@iwu.fraunhofer.de  
www.iwu.fraunhofer.de

**Abteilung Zerspanungstechnologie**

Dipl.-Ing. Carsten Hochmuth  
Telefon +49 371 5397-1811  
Fax +49 371 5397-1811  
carsten.hochmuth@iwu.fraunhofer.de

© Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen  
und Umformtechnik IWU 2021